



複数移動体の協調制御に関する研究：  
2機の移動体の同軸制御

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2013-11-21 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 衣川, 洋一 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="https://doi.org/10.24729/00007870">https://doi.org/10.24729/00007870</a>

# 複数移動体の協調制御に関する研究 — 2機の移動体の同軸制御 —

衣 川 洋 一 \*

Co-operative Trajectory Control of Plural Vehicles  
— Caravan Control of Two Vehicles —

Yohichi KINUGAWA\*

## ABSTRACT

This report shows with experimental results, first this method gives good results of automatic follow-up using simple machanization, second fine compensation and tuning is performed using the data derived from memory of steering angle of front vehicle and the polarity of the angle lookig back the rear vehicle measured on the forward vehicle.

Key Words: Co-operative Control, Vehicle, Caravan Control.

## 1. はじめに

協調制御とは例えば2台の移動ロボットで一つの装置の両端を支え、水平を保ちながら方向を変えつつ平行移動させる場合のように互いに相手の動きを検知しつつ系としての目的を達するように行う制御動作である。移動体はそれぞれがCPUを持ち自主的判断をしつつ移動方向と速度の制御を行う。複数の移動体が共同の作業を行う場合には特定の1機が判断し指示する方が能率的である。同軸制御とは先行する移動体が走行したのと同一または近いコースを後続の移動体が追従走行するような制御であり、協調制御の用いられる最も単純な形態である。移動空間によって移動体の種類は各種あるが位置計測や制御のしやすさから最も実用に近いものは車輪式のものである。現在同軸制御が求められている分野として次の2つの例をあげることが出来る。

あるセメント工場<sup>1)</sup>では特別に強度の高い専用道路を建設し専用の105トンのトリプルストレータを用いて石灰石を採掘場から運搬している。このような場合もし後続車が複数台追走するような同軸制御システムを適用するならば、輸送効率を大幅に拡大することができる。また特別の強度を持たされていない道路でも普通の積載能力のトラックを用いて1運転手当りの輸送量を飛躍的に向

上させることができる。

また空港における旅客の荷物運搬用車両は一人の運転手で十両を越える数珠つなぎの台車をメカニカルに牽引するシステムとなっている。このシステムがカーブを走行するとき後続の各車両において内外輪差によって軌道のずれが累積され、全体として走行スペースが車幅の何倍も必要となる。またプッシュバックで狭い場所に後部を押し込むようなこともジャックナイフ現象のために不可能である。もしここに同軸制御システムを適用するならば走行スペース、プッシュバック走行の問題も解決し空港での作業効率を大幅に高めるであろう。

同軸制御の制御方策の一つは先行車の走行経路または現在位置を座標情報として後行車が利用する方策<sup>2) 3)</sup> <sup>4) 5)</sup>で、もう一つの方策は先行車の操舵量情報をほぼそのまま直接に後行車が利用する方法である。前者は後行車が目標の点または経路の点列をうまく通過するための操舵量決定方法、例えば地点追従法<sup>6)</sup>などを必要とする。これに対し後者は先行車の一定走行距離毎の操舵量データを記憶・伝送し、それに補正を加えて後行車の操舵量とする方法であるため、これによればデータの扱い方が比較的簡単になる。この方法にあたる報告は操舵量記憶型の同軸制御の提案<sup>7)</sup>が出されている以外にはない、本報では4WS模型車2機を用いて、いわゆる操舵量記憶型の方策を基本とし、そこから得た車体方位と検出データによって後行車の舵角補正をし同軸制御を実現したので報告する。

1990年4月9日受理

\* 機械工学科 (Department of Mechanical Engineering)

## 2. システム構成

移動体には地上を走行する車を選び、内外輪差が出ないために同軸制御の分かりやすい4WS模型車を用いた。またシステムを簡単なものにするため4WS車2機としCPUを各車に備え、通信によって情報伝達を行うようにした。本システムの構成を図-1に示す。

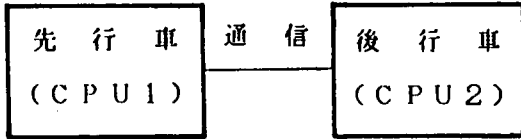


図-1 制御系の構成

本システムの動作は先行車で操舵量、絶対走行距離、速度、先行車からみた後行車のふれを取得し、一般化したデータをすべて通信によって後行車におくる。後行車はスレーブとなり、後行車が自車で取得した距離、速度データと併せて処理をし、先行車と同一のコースを一定距離遅れて走行するよう速度制御、舵角制御を行う。センサーとして角・距離検出にはロータリエンコーダ、速度の検出にはタコジェネレータを、アクチュエータとして舵角制御にはステッピングモータ、速度制御にはDCサーボモータを用いた。

後行車のCPUの入出力周期は先行車から一定距離進む毎のサンプルデータの受信をし、自車が一定距離進む毎に取得した自車の新しいデータで再計算した速度と操舵指令値を出力する。

## 3. 制御方法

制御系は速度制御と舵角制御の二つに分離することが出来るので以下そのように分けて説明する。

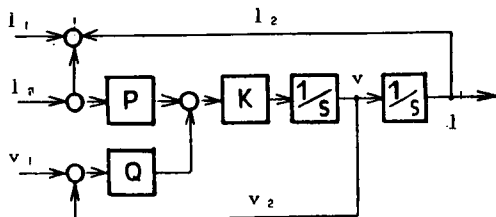


図-2 速度・車間距離制御のブロック図

## 3-1 速度・車間距離の制御

車間距離の制御は先行車、後行車のそれぞれのスタート地点からの絶対距離  $l_1, l_2$  を用いその差が設定した車間距離  $l_0$  と等しくなるように、また両車の速度  $v_1, v_2$  の差が0となるようにフィードバック制御を行う。この制御系を近似してブロック図で示すと図-2のようになる。

またこの系の状態を後行車の位置  $l$  と速度  $v$  にとり制御方程式で表すと次のようになる。

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} l \\ v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -PK & -QK \end{bmatrix} \begin{bmatrix} l \\ v \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1_1 \\ 0 \\ PK & -PK & QK \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1_1 \\ l_0 \\ v_1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} l_2 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} l \\ v \end{bmatrix} \quad (2)$$

ここで  $P, Q$  はそれぞれ車間距離誤差、相対速度にかける係数、 $K$  はアンプの増幅度である。

## 3-2 舵角制御

操舵データの取得は先行車の一定微小走行距離毎に検出する方法で行う。一般の制御理論ではデータのサンプリングは一定時間毎に行うが操舵量記憶型の同軸制御ではコース上一定距離毎に行うのが当を得ている。一定距離  $\delta$  進む毎にデータを取得するから走行経路上に図-3

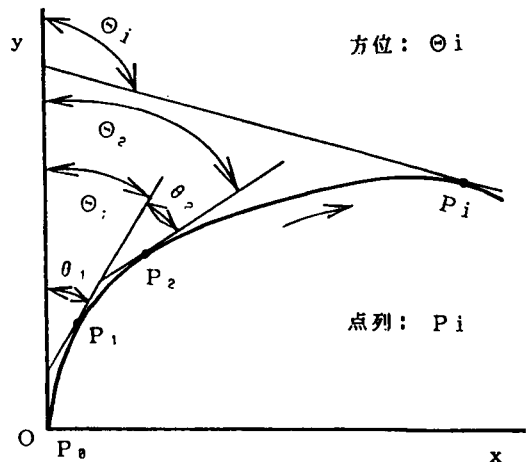


図-3 コースの点列と先行車の方位

のように一定微小距離  $\delta$  毎に点を取り、出発点  $P_0$  から始め一般に  $P_i$  ( $i = 0, 1, 2 \dots$ ) のように番号をつけることにする。

このようにすると得られたデータから車体の方位や必要なら走行経路の座標点列を近似的に定めることができる。図-4 (a) のようなホイールベースが  $H$  である 4WS 車が  $\epsilon_i$  の舵角で微小距離走行するとき、便宜上図-

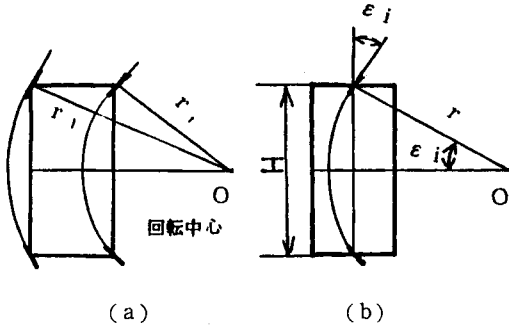


図-4 操舵角と回転半径

4 (b) のように中央に仮に設けた車が  $\epsilon_i$  の操舵をするものと仮定すると近似的に回転半径  $r$  は

$$r = \frac{H}{2 \cdot \sin(\epsilon_i)} \quad (3)$$

で表される。そこで舵角  $\epsilon_i$  だけ切って、点  $P_{i-1}$  から点  $P_i$  までの微小一定距離  $\delta$  を進むと図-5 より車体の

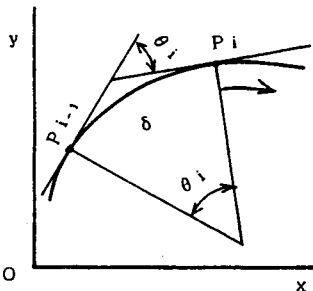


図-5 車体方位変化

方位変化  $\theta_i$  は

$$\theta_i = \frac{\delta}{r} \quad (4)$$

となる。したがって(3)(4)より

$$\theta_i = \frac{2 \cdot \delta \cdot \sin(\epsilon_i)}{H} = \frac{2 \cdot \delta \cdot \epsilon_i}{H}$$

車体の方位  $\theta_i$  は出発点  $P_0$  での方位を基準とし図-3 のように

$$\theta_i = \sum \theta_i \quad (6)$$

となる。したがって2点  $P_i, P_{i-n}$  にそれぞれ先行車、後行車があるものとすれば車体方位の差は

$$\theta_i - \theta_{i-n} \quad (7)$$

で表現される。

舵角制御にはつぎのような制御方策をとっている。つまり上述の原理でデータは処理され先行車の走行経路上の各点での舵角と車体の方位角は

$$\{ \epsilon_i, \theta_i \} \quad (i = 1, 2, \dots)$$

のようなデータ列で与えられる。先行車が点  $P_i$  にいれば出発点からの走行距離は  $\delta \cdot i$  となり、後行車はそれより車間距離  $\delta \cdot n$  ( $n$  は両車位置の番号の差) 遅れた位置にいる。従って後行車が先行車がその位置で切っていた操舵量を知りたいなら、車間距離に対応する番号差  $n$  を引いた  $i - n$  番目のメモリー  $\epsilon_{i-n}$  を参照すればよい。

この際後行車の操舵遅れによるコースずれを抑えるため、後行車ふれデータと両車の方位データを用いフィードフォワード的な補正を加えて操舵量  $Souda1$  を作成する。

$$Souda1 = \theta_i + U \cdot s \cdot (\theta_i - \theta_{i-n}) - Souda0 \quad (8)$$

$Souda0$  は前回の出力値、補正量  $U \cdot s \cdot (\theta_i - \theta_{i-n})$  の内  $(\theta_i - \theta_{i-n})$  は両車の方位の差(7)式である。  $s$  は後行車のふれの測定データをもとに、後行車の方位との関係で場合わけして決めた符号、  $R$  は適度な値を試行によって探し決めたものである。

この方法の他にコースからのずれ量に係数をかけて修正する方法もあるが、それによればカーブ時に生じる外側へのずれの修正動作が遅れる欠点がある。

#### 4. 走行結果

測定のための先行車の操舵と走行は人が手でおして行った。走行軌跡のデータ取得は 4WS 模型車を方眼紙上

で走らせ、車体につけたペンで軌跡を描かせる方法で行った。4WS車のホイールベース $H=27\text{cm}$ 、一定微小距離(入出力単位走行距離) $\delta=19.6\text{mm}$ 、車間距離 $59\text{cm}$ ( $n$

$=30$ )、制御パラメータ $K$ 、 $P$ 、 $Q$ 、 $U$ は試行錯誤的に最適な値に設定した。試作し測定に用いたシステムの写真を図-7に示す。

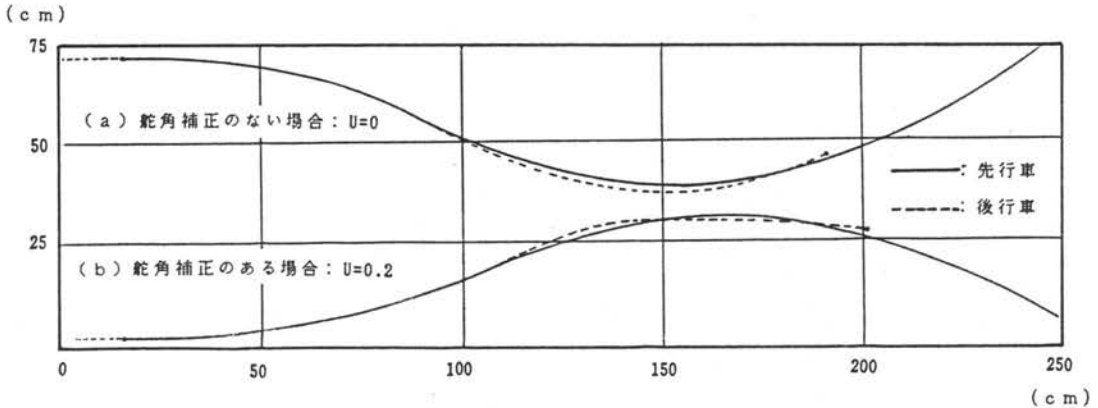


図-6 同軸制御走行結果



図-7 製作した制御システムの写真

同軸制御走行結果について図-6に示す。(a)は追従ふれを用いた舵角補正を行っていない場合( $U=0$ )、(b)は舵角補正を行った場合で(b)の方がコース修正動作がより機敏になっていることが分かる。いずれの場合も最小半径 $120\text{cm}$ のS字路の場合で最大ずれ $2\text{cm}$ の優れた同軸制御を実現している。

## 5. まとめ

以上の結果として、

(1)操舵量記憶型の同軸制御をコンピュータメモリを用いて実現し、(2)両車体の方位差を操舵量の補正に用いるこ

とによってカーブコースでの良好な軌道追従性を得られることが分かった。今後協調制御を応用した同軸制御が課題となる。

## 参考文献

- 1) 佐々木正明, 平子敦史: 多重連結車両の制御システム, 自動車技術, Vol.41, No. 3, 368-374, 1987.
- 2) 衣川洋一, 津村俊弘他: 複数移動体の協調制御に関する研究 (2機構成の場合の走行シミュレーション), 第4回シミュレーション・テクノロジー・コンファレンス, 7A-1, 135-138, 1984.
- 3) 衣川洋一, 津村俊弘他: 複数移動体の協調制御に関するシミュレーション), 第8回ビークル・オートメーション・シンポジウム, B1, 11-14, 1985.
- 4) 津川定之他: 車両間通信を用いた自律車両群の走行制御, 第2回 ADVANTY SYMPOSIUM, 29-32, 1989.
- 5) 宮野智行, 津村俊弘, 小松信雄他, 車両群の自動追従走行システム, 第3回 ADVANTY SYMPOSIUM, 19-22, 1990.
- 6) 津川定之: 地点追従方式による車両の自立型自動誘導システム, 第6回ビークル・オートメーション・シンポジウム, D3, 35-36, 1983.
- 7) 津村俊弘: 同軸制御についての一提案, 第10回ビークル・オートメーション・シンポジウム, 2A5, 25-28, 1987.